

EFEK SUHU TINGGI TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERSERAT KAWAT BAJA

Antonius

Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4, Telp. 6583584 ext.582, Semarang
e-mail: antoni67a@yahoo.com

Abstrak

Sifat mekanik beton berserat diketahui mempunyai perilaku yang sangat daktail dibandingkan sifat-sifat pada beton normal sehingga beton berserat mempunyai peranan yang signifikan untuk meningkatkan daktilitas struktur. Namun demikian beton berserat kawat baja sangat sensitif apabila berada pada suhu tinggi. Paper ini membahas kemampuan balok beton berserat dalam menahan beban lentur, dimana diterapkan pada balok yang berada pada suhu tinggi. Pengujian pada balok dilakukan dengan meninjau parameter tulangan tekan dan suhu (normal, 300°C, 600°C dan 900°C). Pembebanan pada balok berupa beban dua titik secara simetris sehingga dihasilkan keruntuhan lentur murni. Hasil pengujian lentur dibandingkan dengan prediksi kapasitas lentur balok yang menggunakan model tegangan-regangan yang telah dikembangkan, dimana akurasi prediksi kapasitas momen balok pada berbagai suhu relatif baik. Hasil pengujian balok secara umum menunjukkan bahwa terjadi penurunan kapasitas beban pada balok apabila suhu yang diterapkan meningkat meskipun tidak signifikan.

Kata-kata kunci: beton berserat, balok, lentur, suhu tinggi

1. Pendahuluan

1.1. Latar belakang

Keamanan struktur apabila terjadi kebakaran merupakan syarat utama agar struktur tidak runtuh secara tiba-tiba. Kebakaran yang terjadi pada suatu gedung yang terbuat dari beton bertulang dapat menyebabkan kehilangan kekuatan dan adakalanya dapat menyebabkan keruntuhan struktur secara keseluruhan. Struktur yang menggunakan material beton harus mampu mencegah perambatan panas akibat kebakaran sehingga diharapkan struktur masih tetap survive dan orang yang berada di dalam bangunan sempat menyelamatkan diri. Penelitian mengenai ketahanan beton normal (tanpa serat) terhadap kebakaran telah banyak diteliti, diantaranya oleh Phan dkk. (2001), Phan & Carino (2002) maupun oleh Aslani & Bastami (2011). Hasil penelitian tersebut pada umumnya berisi rekomendasi ataupun persyaratan ketahanan struktur beton terhadap suhu tinggi.

Di lain pihak, secara geografis wilayah Indonesia sebagian besar berpotensi mengalami gempa sehingga di dalam desain struktur parameter daktilitas merupakan syarat utama. Struktur yang daktail secara material salah satunya dapat dicapai dengan menggunakan bahan yang mempunyai kemampuan deformasi secara signifikan tanpa mengalami degradasi kekuatan yang berarti. Beton berserat kawat baja diketahui mempunyai sifat yang daktail karena komposisi matrix antara bahan penyusun beton dengan serat kawat baja dapat mengontrol keruntuhan beton. Beberapa persamaan desain beton berserat kawat baja telah diusulkan sebagai alternatif dalam desain komponen struktur beton [Antonius & Setiyawan, 2006; Cement & Concrete Institute, 2010]. Namun demikian aplikasi beton berserat kawat baja dalam komponen struktur yang berada pada suhu tinggi masih perlu penyelidikan lebih mendalam agar dapat dipastikan tingkat keamanan struktur apabila mengalami kebakaran.

1.2. Tujuan

Mengingat struktur balok merupakan salah satu komponen utama dalam menahan maupun menyalurkan beban plat, maka paper ini membahas kapasitas lentur balok beton berserat kawat baja paska bakar yang bertujuan mengevaluasi tingkat degradasi balok tersebut pada suhu tinggi dan sangat tinggi. Selain itu juga akan dievaluasi akurasi prediksi kapasitas lentur balok beton berserat kawat baja pada berbagai suhu yang menggunakan persamaan desain yang telah dikembangkan.

2. Beton Pada Suhu Tinggi

Sifat termal beton normal (tanpa serat) lebih baik bila dibandingkan sifat termal pada beton mutu tinggi. Mekanisme keruntuhan beton mutu tinggi mengalami "explosive spalling" yang lebih cepat pada suhu 200 sampai 400°C [Phan dkk, 2001]. Lebih lanjut Phan & Carino (2002) mengungkapkan bahwa kuat tekan beton mutu tinggi berkurang 40% pada suhu 400°C.

Santos dkk. (2009) mengungkapkan bahwa pada beton berserat yang dipanasi hingga suhu 300°C hanya terjadi retak pada permukaan beton. Apabila suhu yang diterapkan meningkat hingga 500°C maka beton berserat akan kehilangan kekuatannya sekitar 30%, dan beton berserat akan mengalami keruntuhan apabila suhu yang diterapkan adalah 600°C. Lebih lanjut Santos menjelaskan bahwa penggunaan serat polypropylene lebih baik dalam mencegah *concrete spalling* dibandingkan jenis serat lainnya. Namun beton berserat kawat baja diketahui lebih daktail dibandingkan serat polypropylene tersebut karena serat kawat baja dapat mengontrol retak pada beton dengan lebih baik.

Penyelidikan beton berserat kawat baja paska bakar yang dilakukan oleh Antonius dkk. (2014) mengungkapkan bahwa pada beton berserat kawat baja pada beton mutu normal $f'_c \leq 60$ MPa penurunan kekuatan secara signifikan terjadi pada suhu 600°C. Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, diusulkan model tegangan-regangan beton berserat kawat baja pada berbagai suhu. Kuat tekan beton yang direkomendasikan untuk beton mutu normal hingga beton mutu tinggi. Model tegangan-regangan untuk beton berserat hingga kuat tekan 55 MPa dijelaskan di bawah ini.

Kurva pra-puncak ($\varepsilon_c \leq \varepsilon_{cT}'$) adalah:

$$f_c = f_{cT}' \left[1 - \left(\frac{\varepsilon_{cT}' - \varepsilon_c}{\varepsilon_{cT}'} \right)^H \right] \quad (1)$$

Dimana

$$H = 2.28 - 0.012 f_c' \quad (2)$$

Dan kurva paska puncak ($\varepsilon_c > \varepsilon_{cT}'$) adalah:

$$f_c = f_{cT}' \left[1 - \left(\frac{30(\varepsilon_c - \varepsilon_{cT}')}{(130 - f_c') \varepsilon_{cT}'} \right) \right] \quad (3)$$

Nilai kuat tekan beton (f_{cT}') pada suhu tertentu dirumuskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{array}{l} T < 300^\circ C \quad : \frac{f_{cT}'}{f_c'} = 1.0219 - 0.0004T \\ 300^\circ C \leq T < 600^\circ C : \frac{f_{cT}'}{f_c'} = 1.3795 - 0.0016T \\ T \geq 600^\circ C \quad : \frac{f_{cT}'}{f_c'} = 0.591 - 0.0003T \end{array} \right\} \quad (4)$$

Dan regangan beton (ϵ_{cT}') adalah:

$$\left. \begin{aligned} T < 300^\circ\text{C} & : \frac{\epsilon_{cT}'}{\epsilon_c'} = 1.0074 - 0.0002T \\ 300^\circ\text{C} \leq T < 600^\circ\text{C} & : \frac{\epsilon_{cT}'}{\epsilon_c'} = 1.225 - 0.001T \\ T \geq 600^\circ\text{C} & : \frac{\epsilon_{cT}'}{\epsilon_c'} = 0.8467 - 0.0003T \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Regangan puncak beton berserat (ϵ_c') diasumsikan sebesar 0.005.

3. Pengujian Lentur Balok Beton Berserat

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium, dimana dirancang balok beton berserat dengan meninjau parameter tulangan tekan dan variasi suhu yaitu suhu normal ($\pm 30^\circ\text{C}$), 300°C , 600°C dan 900°C .

3.1. Material

Desain campuran beton adalah berdasarkan SNI dengan target kuat tekan sekitar 55 MPa yang ditunjukkan pada Tabel 1. Kandungan serat kawat baja adalah 0,5% dari volume beton.

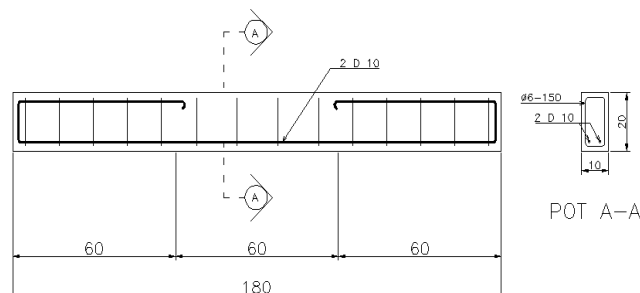
Tabel 1. Desain campuran beton

Materials	f_c' target (55 MPa)
Cement (Kg/m^3)	419.98
Fly Ash (Kg/m^3)	74.11
Water (Lt/m^3)	160
w/c	0.38
Viscocrete 0,5% (lt/m^3)	6.228
Fine Aggregate (Kg/m^3)	696.62
Coarse Aggregate (Kg/m^3)	1044.93

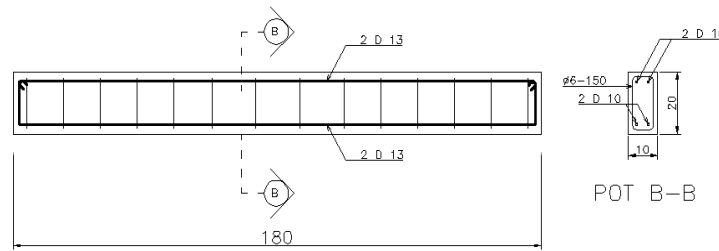
3.2. Spesimen balok

Detail penulangan balok terlihat pada Gambar 1. Spesimen balok dibagi dua jenis utama yaitu balok tanpa tulangan tekan pada daerah lentur yang diberi kode NT, dimana terdapat empat buah balok yaitu balok kontrol (tanpa dibakar) dengan kode NT Kontrol, dan balok yang dibakar pada suhu 300°C , 600°C dan 900°C , yang masing-masing diberi kode NT300, NT600 dan NT900.

Balok jenis kedua adalah balok yang dipasang tulangan tekan di daerah lentur. Sama halnya dengan jenis balok pertama di atas, balok jenis kedua ini juga terdiri dari balok kontrol yang diberi kode T Kontrol, dan balok yang dibakar masing-masing mempunyai kode T300, T600 dan T900.



a. Balok Jenis NT (Tanpa tulangan tekan pada daerah lentur)



b. Balok Jenis T (Dengan tulangan tekan pada daerah lentur)
 Gambar 1. Sketsa jenis balok lentur

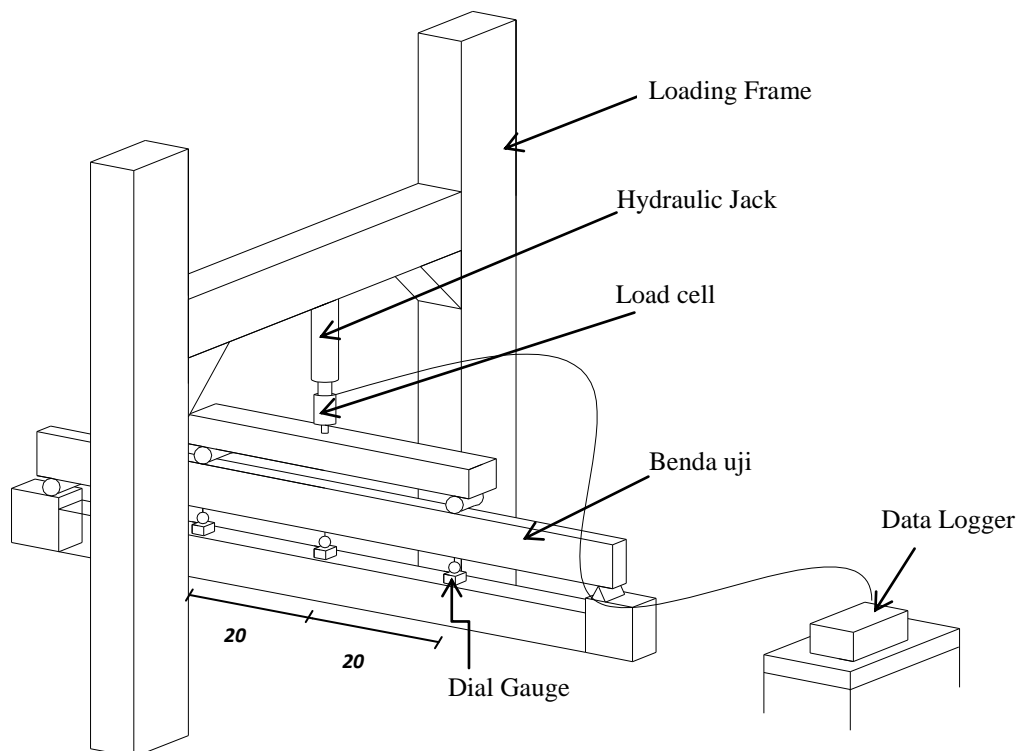
3.3. Pembakaran spesimen dan skema pembebanan

Pembakaran benda uji dilaksanakan setelah beton mencapai umur 120 hari. Balok diuji dengan metode dua beban titik (*two point load*) dengan sistim pengujian adalah Kontrol Deformasi (*Deformation-Kontrol*). Untuk memperoleh pengamatan yang teliti maka pembebanan pada balok diberikan secara bertahap dalam siklus tertentu yaitu setiap 200 kg melalui *Hidrolic Jack*. *Dial Gauge* digunakan untuk mengetahui besarnya lendutan/defleksi yang terjadi pada balok beton seras saat proses uji. Gambar 2 memperlihatkan penempatan alat uji pada balok.

4. Hasil Eksperimen dan Pembahasan

Momen balok teoritis dikalkulasi berdasarkan teori lentur balok, dimana perilaku beton pada berbagai suhu menggunakan model tegangan-regangan usulan oleh Antonius dkk. (2014) di atas.

Gambar 3 menunjukkan pola retak yang dominan berada di sekitar tengah bentang balok. Pola keruntuhan tersebut mengindikasikan bahwa balok mengalami keruntuhan lentur.



Gambar 2. Skema pembebanan lentur



Gambar 3. Keruntuhan lentur hasil eksperimen

4.1. Kapasitas momen

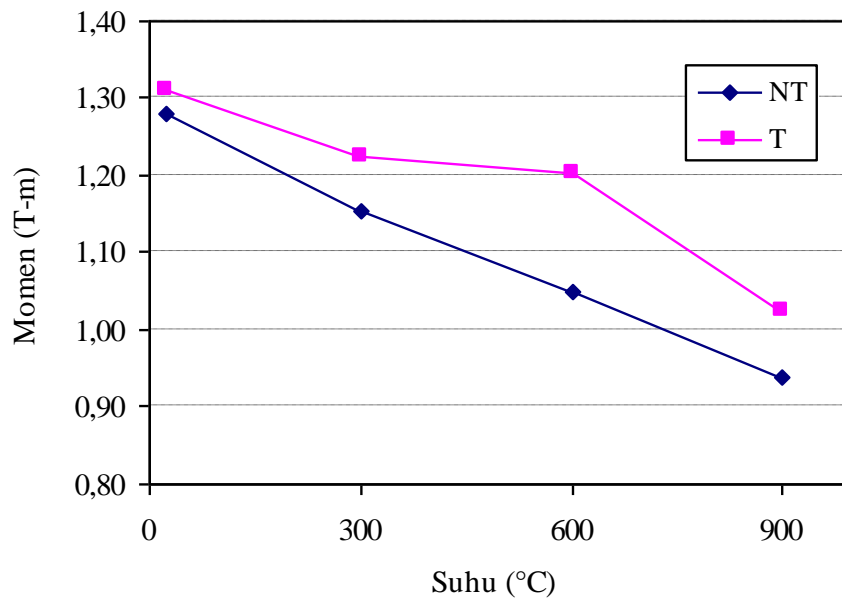
Tabel 2 memperlihatkan momen teoritis dan momen hasil eksperimen pada setiap spesimen. Rasio momen teoritis terhadap momen eksperimen balok kontrol tanpa tulangan tekan (NTK) mempunyai nilai 0,897, dimana nilai tersebut menunjukkan perbedaan sekitar 11% antara prediksi teoritis terhadap hasil pengujian. Prediksi momen balok pada suhu 300°C mendekati momen hasil eksperimen yaitu hanya berbeda kurang dari 1%. Pada spesimen NT600 perbedaan antara momen teoritis terhadap momen eksperimen adalah sekitar 7%, namun untuk spesimen NT900 terjadi deviasi sekitar 19%. Secara umum nilai $M_{\text{teoritis}}/M_{\text{eksp.}}$ untuk balok beton berserat kawat baja jenis NT relatif masih cukup baik.

Tabel 2. Momen balok hasil analisis dan eksperimen

No	Spesimen	f'_c (MPa)	Momen (T-m)		$M_{\text{teoritis}}/M_{\text{eksp.}}$
			M_{teoritis}	$M_{\text{eksp.}}$	
1	NTK	55,897	1,148	1,279	0,897
2	NT300	38,05	1,145	1,153	0,993
3	NT600	28,383	1,124	1,049	1,071
4	NT900	23,792	1,119	0,940	1,190
5	TK	55,897	1,073	1,310	0,819
6	T300	38,05	1,075	1,224	0,878
7	T600	28,383	1,083	1,204	0,899
8	T900	23,792	1,085	1,024	1,059

Sama halnya dengan perbandingan nilai kapasitas momen secara teoritis terhadap hasil eksperimen pada balok tanpa tulangan tekan di atas, pada balok yang dipasang tulangan tekan juga memperlihatkan rasio $M_{\text{teoritis}}/M_{\text{eksp.}}$ rata-rata di bawah 10%. Hasil tersebut secara umum menunjukkan perbedaan antara hasil analisis terhadap hasil eksperimen relatif cukup dekat.

Selanjutnya berdasarkan data Tabel 2 di atas terlihat bahwa terjadi kecenderungan penurunan kapasitas momen hasil eksperimen apabila suhu yang diterapkan semakin tinggi. Pada semua spesimen, kapasitas momen balok yang dipasang tulangan tekan masih lebih tinggi dibandingkan kapasitas momen balok tanpa tulangan tekan (Gambar 4).

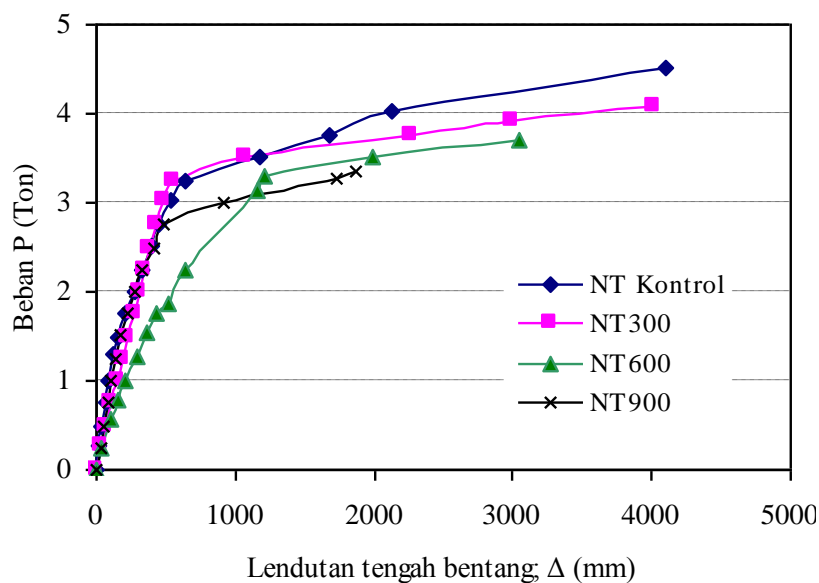


Gambar 4. Degradasi kapasitas momen vs suhu

4.2. Perilaku Beban – Lendutan

4.2.1. Balok kode NT

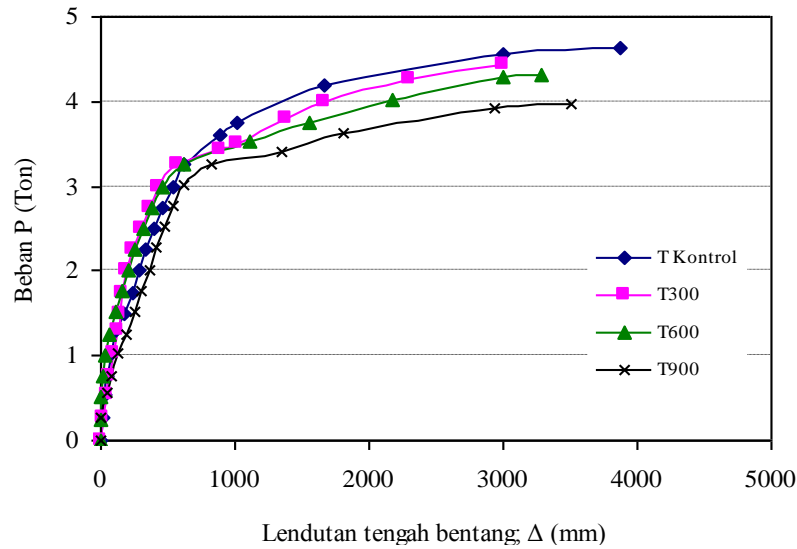
Hubungan antara beban terhadap lendutan di tengah bentang pada balok tanpa tulangan tekan (NT) pada berbagai suhu diperlihatkan pada Gambar 5. Pada kurva tersebut ditunjukkan beban P terhadap lendutan (Δ) dari semua balok. Hingga beban $\pm 1,3$ ton perilaku balok terlihat masih linier, dimana ditunjukkan balok tersebut belum retak. Selanjutnya balok mengalami perilaku non linier, dimana mulai muncul adanya retakan-retakan sampai pada beban mencapai $\pm 3,2$ ton, kecuali pada balok dengan suhu 900°C menunjukkan $\pm 2,8$ ton. Setelah beban tersebut perilaku balok cenderung mulai mengalami keruntuhan, dimana lendutan balok berjalan dengan cepat sampai balok mengalami keruntuhan pada beban yang berbeda-beda, hal ini menunjukkan faktor suhu tinggi pada balok sangat berpengaruh terhadap kapasitas lentur balok.



Gambar 5. Hubungan beban vs lendutan pada balok non tekan dengan variasi suhu.

4.2.2. Balok kode T

Perilaku beban terhadap lendutan balok di tengah bentang untuk spesimen yang dipasang tulangan tekan ditampilkan pada Gambar 6. Secara umum pada pembebanan hingga $\pm 1,4$ ton perilaku balok masih linier, kemudian perilaku balok mengalami sifat non linier atau munculnya retakan sampai pada beban mencapai $\pm 3,3$ ton, kecuali pada balok kontrol menunjukkan $\pm 3,7$ ton. Setelah beban tersebut, defleksi balok mulai berjalan dengan cepat hingga mengalami keruntuhan pada semua balok, dimana lendutan terbesar terjadi pada balok kontrol.



Gambar 6. Hubungan beban vs lendutan pada balok non tekan dengan variasi suhu.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil analisis maupun eksperimen di atas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan di bawah ini.

1. Analisis kapasitas momen balok beton berserat kawat baja yang menggunakan model tegangan-regangan yang diusulkan oleh Antonius dkk. cukup akurat dalam memprediksi kapasitas momen balok hasil eksperimen.
2. Kapasitas lentur balok beton berserat kawat baja yang dipasang tulangan tekan masih lebih tinggi dibandingkan kapasitas balok tanpa menggunakan tulangan tekan pada spesimen yang dari suhu normal hingga suhu tinggi, meskipun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan ($<10\%$).
3. Secara umum defleksi di tengah bentang pada semua balok relatif tinggi yang menandakan balok masih mempunyai perilaku daktilitas yang memadai. Perilaku ini dimungkinkan dari peranan serat kawat baja dalam mengontrol keruntuhan balok di setiap suhu.

5.2. Saran

Beton berserat kawat baja merupakan salah satu bahan/material yang mempunyai prospek sangat baik dalam penggunaannya untuk struktur bangunan tahan gempa. Disarankan pengembangan penelitian lebih lanjut yang berkaitan dengan perilaku daktilitas struktur yang diberi beban statik maupun beban dinamik, termasuk perilaku pengekanan beton berserat kawat baja.

Ucapan Terima Kasih

Kegiatan eksperimental yang dilakukan di dalam penelitian ini adalah bagian dari penelitian Hibah Bersaing. Terima kasih disampaikan kepada DP2M Dikti atas dukungan finansial sehingga terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Antonius, Widhianto, A., Darmayadi, D. and Asfari, G.D. (2014); *Fire Resistance of Normal and High-Strength Concrete with Contains of Steel Fibre*; Asian Journal of Civil Engineering, Vol.15, No.5, October, pp.655-669.
2. Antonius, Darmayadi, D. dan Asfari, G.D. (2013); *Perilaku Mekanik Beton Berserat Baja pada Suhu Tinggi*; Lap. Penelitian Hibah Bersaing TA 2013, Depdikbud.
3. Antonius dan Setiyawan, P. (2006); *Kajian Besaran Mekanis Beton Berserat Mutu Tinggi (Studi Eksperimental)*; Jurnal Wahana Teknik Sipil, Politeknik Neg. Semarang, Akreditasi No.49/Dikti/Kep./2003, Vol. 11 No.3, pp.74-81.
4. Aslani F, and Bastami M. (2011); *Constitutive Relationships for Normal- and High-Strength Concrete at Elevated Temperatures*, *ACI Materials Journal*, Vol. 108, pp.355-64.
5. ASTM C 78 – 94 (1996), *Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Two-Point Loading)*; Annual Books of ASTM Standards, USA, 1996.
6. Badan Standardisasi Nasional (2013), *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI-2847-2013.
7. Cement & Concrete Institute (2010); *Fiber Reinforced Concrete*, The Cement & Concrete Institute, Midrand.
8. Phan, L.T. and Carino, N.J. (2002); *Effects of Test Conditions and Mixture Proportions on Behavior of High-Strength Concrete Exposed to High Temperatures*, *ACI Materials Journal*, Vol.99, No.1, pp.54-66.
9. Phan, L.T., Lawson, J.R. and Davis, F.L. (2001); *Effects of Elevated Temperature Exposure on Heating Characteristics, Spalling, and Residual Properties of High Performance Concrete*, *Materials and Structures*, Vol.3, March, pp.83-91.
10. Santos, S.O.; Rodrigues, J.P.C.; Toledo, R. and Velasco, R.V. (2009); *Compressive Behaviour at High Temperatures of Fibre Reinforced Concretes*; *Acta Polytechnica*, Vol.49, No.1, pp. 29-33.

Daftar Notasi

- ε_c = regangan beton
 ε_c' = regangan puncak beton
 ε_{cT}' = regangan puncak beton pada suhu tertentu
 f_c = kuat tekan beton pada suhu normal
 f_c' = kuat tekan beton silinder 150/300 pada umur 28 hari
 f_{cT} = kuat tekan beton pada suhu tertentu
 f_{cT}' = tegangan puncak beton pada suhu tertentu
 T = suhu